doi:10.13866/j.azr.2020.01.06

新疆和田绿洲空气质量状况与气象条件的关系①

买买提阿布都拉·依米尔[1]， 布帕提曼·艾拜都拉[1]， 陈天宇[1]，
玛依拉·麦麦提[2]， 赵玉倩[1]

（1. 和田地区气象台，新疆 和田 848000；2. 新疆机场(集团)有限责任公司和田机场，新疆 和田 848000）

摘　要： 利用和田绿洲空气质量日报数据和同期的常规气象资料，分析了2015年1月1日至2017年12月31日该区的空气质量特征，探讨了气象条件和空气质量之间的相互关系。结果表明：和田绿洲近3 a平均环境空气质量指数(AQI)为199，达到空气质量中度污染标准，污染天数占总日数的78.1%。其中，春季空气质量最差，以严重污染为主；其次是夏季，以轻度和严重污染为主；再次是秋季和冬季，以轻度污染为主。PM_{10}、$PM_{2.5}$浓度年平均分别为332 μg·m^{-3}和100 μg·m^{-3}，超标率为75.7%和49.5%，其余污染物超标率在3%以下，其中PM_{10}浓度春季最大，夏、秋季其次，冬季最小；$PM_{2.5}$浓度春季最大，夏、冬季其次，秋季最小；SO_2、NO_2、CO浓度冬季最大，秋、春季次之，夏季最小；O_3浓度夏季最大，春、秋季次之，冬季最小。除降水量外，AQI与其余气象因子均呈极显著相关；除平均气温与$PM_{2.5}$、相对湿度与CO、降水量与SO_2、PM_{10}、O_3、$PM_{2.5}$无相关外，其余气象因子对空气质量分指数(IAQI)均有显著影响；能见度与AQI和IAQI均为极显著相关。随着能见度的上升，AQI下降，在同样能见度条件下，污染浓度在沙尘多发期的夏半年高于沙尘少发期的冬半年；不管在沙尘多发期还是少发期，随着能见度的转好，SO_2、PM_{10}、CO、$PM_{2.5}$浓度呈减少趋势，O_3浓度呈增多趋势，NO_2浓度无明显的规律，而且PM_{10}、O_3、$PM_{2.5}$浓度夏半年高于冬半年，SO_2、CO、NO_2浓度冬半年高于夏半年。在沙尘天气期间，最低能见度小于1 km的浓浮尘和沙尘暴天气污染浓度相互接近，最低能见度在1~3.5 km的浮尘和扬沙天气污染浓度相互接近，当最低能见度大于3.5 km时，浮尘天气的污染浓度高于扬沙天气；PM_{10}、$PM_{2.5}$浓度随着最低能见度升高而变小，其他污染物浓度虽然随着最低能见度的变化有一定的差别，但规律不明显。

关键词： 空气质量；气象因子；绿洲；和田；新疆

近年来，随着我国经济快速发展，工业化、城镇化步伐的不断加快，能源消耗持续增加，环境空气污染状况变得日益恶化，对环境质量[1-2]、居民健康[3-6]和社会经济发展[2,7-8]等方面带来严重的影响，引起社会各界对空气质量的高度重视[9-10]。通过多方的努力，有效控制了大气环境污染恶化趋势[11-12]，但从整体上大气环境污染状况仍不容乐观，问题依然严峻，改善大气环境呼声日益强烈。大气污染程度不仅取决于各地地理位置、地形地物、人口密度、产业机构、城市规划布局、污染源性质和强度以及机动车保有量等，同时还与当时或前期的气象条件密切相关[13-16]。环境空气质量指数(ambient air quality index，AQI)是目前在国际上被广泛应用的大气环境质量评价体系，2016年1月1日开始实施并代替了原来的空气污染指数(air pollution index，API)，污染物监测项目从3项增加到了6项，而且规范提高了部分污染物的限值，是一种评价大气环境质量状况简单而直观的指标[17-18]。目前，国内很多学者对AQI进行研究[19-21]，但对于新疆环境空气质量研究依然停留在具体污染物[22-25]或API[26-28]上，有关AQI指数及其与气象要素的关系等领域研究较少[29-31]。

和田地区位于新疆的西南隅，地处34°22′~39°38′N、77°31′~84°55′E，全境东西长570~648 km，南北宽420~580 km[32]。位于昆仑山南部与西藏交界处，属于昆仑山背风坡地带，北部与塔克拉玛干大沙漠和阿克苏地区相连，东部与巴音郭楞蒙古自治州相接，西部与喀什地区毗邻，总面积为2.48×10^5 km^2，其中沙漠戈壁占全区总面积的63%，山地面积占33.3%，绿洲面积仅占3.7%，形成了典型的

① 收稿日期：2019-04-10； 修订日期：2019-06-06
基金项目：新疆维吾尔自治区自然科学基金面上项目(2017D01A08)资助
作者简介：买买提阿布都拉·依米尔(1979-)，男，维吾尔族，高级工程师，主要从事短时临近天气预报和沙尘暴预报预警指标研究工作. E-mail: htmmt@163.com

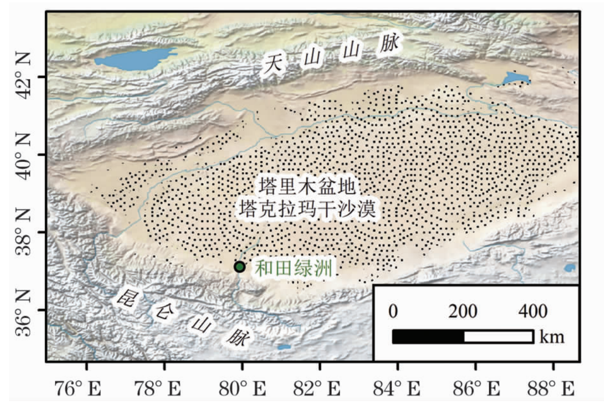
干旱荒漠性气候,是全国沙尘暴天气多发地区之一[33-34]。2016 年总人口 2.45×10^6 人,其中农业人口 1.90×10^6 人,非农业人口 5.45×10^5 人,约 98% 的人口在 3% 的土地上生存。和田绿洲常年干旱少雨、多风沙,地表土质较为疏松,植被覆盖率较低,年平均气温 13.0 ℃,年降水量 43.9 mm,年蒸发量 2 746.3 mm,年平均风速 1.8 $m\cdot s^{-1}$,年烟幕日数 147.6 d,年沙尘日数达 243.4 d。其中,沙尘暴日数 16.5 d,扬沙日数 34.9 d,浮尘日数 192.0 d。沙尘天气是和田地区主要灾害性天气之一,也是直接影响和田空气质量的重要气象要素。

对于和田空气质量,谷超[22]、刘新春等[23]、张小啸等[24]、郭宇宏等[25]分别研究了和田市 PM_{10}、$PM_{2.5}$、TSP 以及大气降尘等污染物,但针对和田 AQI 及其与气象条件的关系等方面还缺乏相关研究。因此,本文利用 2015—2017 年和田绿洲 2 个环境监测站的二氧化硫(SO_2)、二氧化氮(NO_2)、可吸入颗粒物(PM_{10})、一氧化碳(CO)、细颗粒物($PM_{2.5}$)、臭氧(O_3)6 项空气污染物日数据和同期的常规气象数据为基础,依据我国环境保护部 2012 年 2 月 29 日发布并于 2016 年 1 月 1 日开始实行的《环境空气质量标准》(GB 3095—2012)[17]和《环境空气质量指数(ambient air quality index,AQI)技术规定(试行)》(HJ633—2012)[18],分析了和田绿洲环境空气质量指数(AQI)和空气质量分指数(IAQI)与气象要素的关系,为全面了解和田绿洲环境空气质量与气象因子之间的关系以及和田大气污染预报预警、综合治理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 数据来源

空气质量数据来自于和田市环保局在城区设置的地区站(79°55′54″E、37°6′48″N)和古江巴格站(79°56′5″E、37°5′41″N),2015 年 1 月 1 日至 2017 年 12 月 31 日逐日资料。监测内容包括 SO_2、NO_2、PM_{10}、CO、$PM_{2.5}$ 等 5 项空气污染浓度 24 h 平均值和 O_3 空气污染物浓度 8 h 滑动平均值。气象数据来自和田市气象局(79°55′30″E、37°07′14″N,海拔 1 374.5 m)(图 1),主要包括气温、气压、日照时数、相对湿度、风速、能见度、降水量、沙尘暴日数、扬沙日数、浮尘日数等数据,监测时段同样为2015年1月1日至2017 年 12 月 31 日。



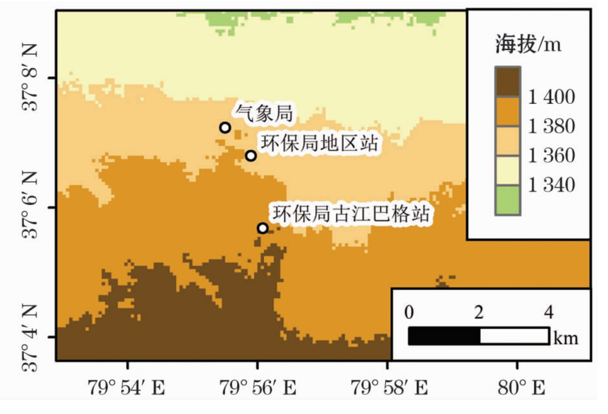


图 1 和田绿洲及其周边荒漠环境

Fig. 1 The Hotan Oasis and its surrounding desert environment

1.2 方法

评价因子:SO_2、NO_2、PM_{10}、CO、O_3 和 $PM_{2.5}$ 6 项。

研究内容:和田绿洲环境空气质量指数(AQI)、空气质量分指数(IAQI)特征以及与气象因子之间的相互关系。

评价标准:空气质量评价标准根据我国环境保护部发布的《环境空气质量标准》(GB3095—2012)、《环境空气质量指数(AQI)技术规定(试行)》(HJ633—2012)开展。日界划分为 0:00—23:00为 1 d;季节划分为 3—5 月为春季,6—8 月为夏季,9—11 月为秋季,12 月至次年 2 月为冬季;沙尘多发期为 3—8 月,沙尘少发期为 9 月至次年 2 月。

评价方法:利用 IAQI,计算得到 AQI,反映出和田绿洲环境空气质量状况。根据 AQI 日平均值可将每日空气质量分为优(Ⅰ级)、良(Ⅱ级)、轻度污

染(Ⅲ级)、中度污染(Ⅳ级)、重度污染(Ⅴ级)、严重污染(Ⅵ级)(表1)。指数越大,污染级别和类别越高,说明空气污染状况越严重,对人体的健康危害也就越明显。

表1 环境空气质量指数(AQI)等级

Tab.1 Levels of ambient air quality index (AQI)

空气质量级别	环境空气质量指数	空气质量类别
Ⅰ	0~50	优
Ⅱ	51~100	良
Ⅲ	101~150	轻度污染
Ⅳ	151~200	中度污染
Ⅴ	201~300	重度污染
Ⅵ	>300	严重污染

2 结果与分析

2.1 环境空气质量指数(AQI)、空气质量分指数(IAQI)的年、季变化

2.1.1 环境空气质量指数(AQI)年、季变化 利用AQI计算方法,分析了和田绿洲2015年1月1日至2017年12月31日逐日空气质量状况。结果显示,近3 a和田绿洲年平均AQI为199,达到空气质量中度污染(Ⅳ级)标准,高于国内沿海地区最大AQI[20]以及新疆主要城市的平均水平[26],而且日均值变化幅度大,AQI从最小值30变化到最大值500(图2),最小值仅是日平均值的15.1%,而最大值为日平均值的2.1倍。其中,空气质量在优、良天数(AQI≤100)为238 d,占总日数的21.9%,空气质量在轻度及以上污染(AQI>100)天数达858 d,占总日数的78.1%。年平均而言(表2),空气质量为优(Ⅰ级)、良(Ⅱ级)的平均日数分别为4 d、76 d,占年总日数的1.1%和20.8%。在污染天气中,轻度污染(Ⅲ级)出现日数最多,平均为127 d,占年总日数的34.7%;其次为严重污染(Ⅵ级),平均为77 d,占年总日数的21.0%;排在第三位的是中度污染(Ⅳ级),平均为61 d,占年总日数的16.7%;重度污染(Ⅴ级)出现次数最少,平均只有21 d,占年总日数的5.7%。通过以上分析可以得出,和田绿洲环境空气质量(AQI)状况较差,大部分时段有不同程度的污染,是全国空气污染最为严重的城市之一。

由图2和表2可知,春季是空气质量最差、污染浓度最高的季节,年平均AQI为280,达到空气质量重度污染(Ⅴ级)标准,其中优良天数只有9 d,占春季总日数的9.8%,而AQI超过100以上的污染天数和比例达83 d和90.2%,尤其是发生严重污染(Ⅵ级)天数达42.4%;其次为夏季,平均AQI为214,仍达到空气质量重度污染(Ⅴ级)标准,其中优

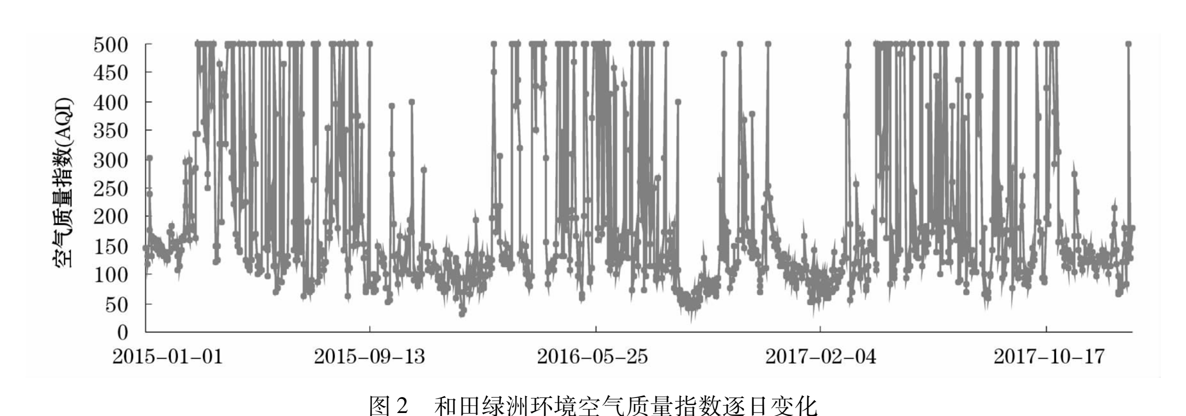


图2 和田绿洲环境空气质量指数逐日变化

Fig.2 Daily variation of ambient air quality index in the Hotan Oasis

表2 和田绿洲空气质量级别的年、季分布

Tab.2 Annual and seasonal distribution of air quality level in the Hotan Oasis

时段	优(Ⅰ)		良(Ⅱ)		轻度(Ⅲ)		中度(Ⅳ)		重度(Ⅴ)		严重(Ⅵ)		污染天数	
	平均/d	比例/%	平均/d	比例/%	平均/d	比例/%	平均/d	比例/%	平均/d	比例/%	平均/d	比例/%	平均/d	比例/%
冬季	1	1.1	25	27.8	39	43.3	14	15.6	4	4.4	7	7.8	64	71.1
春季	0	0.0	9	9.8	23	25.0	15	16.3	6	6.5	39	42.4	83	90.2
夏季	2	2.2	17	18.3	27	29.0	18	19.4	6	6.5	23	24.7	74	79.6
秋季	1	1.1	25	27.8	38	42.2	13	14.4	5	5.6	8	8.9	64	71.1
年	4	1.1	76	20.8	127	34.7	61	16.7	21	5.7	77	21.0	286	78.1

良天数为 19 d,占夏季总日数的 20.5%,AQI 超过 100 以上的污染天数和比例为 74 d 和 79.6%,发生轻度(Ⅲ级)和严重污染(Ⅵ级)天数分别为 29.0% 和 24.7%;冬季和秋季空气质量和污染浓度较春、夏季有所好转,但 AQI 仍然维持在 146 和 155,分别属于轻度污染(Ⅲ级)和中度污染(Ⅳ级)标准,其中优良天数和比例均为 26 d 和 28.9%,AQI 超过 100 以上的污染天数为 64 d,占冬、秋季总日数的 71.1%,尤其是发生轻度污染(Ⅲ级)天数分别达 43.3% 和 42.2%。通过以上分析可以得出,和田绿洲一年四季都会出现污染天气,尤其是春、夏季空气质量差于秋、冬季,这种分布特征与和田地区沙尘天气[33-34]分布特征一致。

2.1.2 空气质量分指数(IAQI)年、季变化 根据空气质量分指数计算方法,利用 SO_2、NO_2、PM_{10}、CO、O_3、$PM_{2.5}$ 等不同污染物浓度值,得到和田绿洲对应每一种污染物的环境空气质量分指数。分析发现,不同污染物空气质量分指数的年内变化存在较明显的差异(表 3)。其中,PM_{10} 居于首位,年平均为 332 $\mu g \cdot m^{-3}$,超标率 75.7%;其次为 $PM_{2.5}$,年平均为 100 $\mu g \cdot m^{-3}$,超标率 49.5%,均高于阿克苏[28]、库尔勒[29]和喀什[30]等城市;其余污染物超标天数比例很低,SO_2、CO 年平均分别为 52 $\mu g \cdot m^{-3}$ 和 1.4 $mg \cdot m^{-3}$,超标率为 2.1% 和 2.8%,NO_2、O_3 年平均分别为 26 $\mu g \cdot m^{-3}$、85 $\mu g \cdot m^{-3}$,超标率均为 0.1%。在 6 种污染物中,PM_{10} 浓度春季最大,夏、秋季其次,冬季最小;$PM_{2.5}$ 浓度春季最大,夏、冬季其次,秋季最小;SO_2、NO_2、CO 浓度冬季最大,秋、春季次之,夏季最小;O_3 浓度夏季最大,春、秋季次之,冬季最小。以上分析表明,和田绿洲 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 污染物是全疆甚至全国最严重的城市,其他污染物发生比例不高,影响范围不大。

2.2 环境空气质量指数(AQI)和空气质量分指数(IAQI)与气象要素相关关系

2.2.1 环境空气质量指数(AQI)与气象因子的相关性 环境空气质量指数(AQI)可以很好地反映一个城市空气质量的总体状况。为了进一步了解不同时段气象因子与 AQI 之间的影响关系,分析了年、季各气象因子与 AQI 的相关关系。分析表明(表 4),除降水量外,其余气象因子均与 AQI 呈极显著相关关系。在不同季节,各气象因子对 AQI 影响存在差异,而最大风速和能见度是影响空气质量的关键气象因子。其中,在春季和秋季,日照时数、风速、能见度与 AQI 呈极显著相关关系,说明随着风速的增强、能见度的下降和日照时间的缩短会显著增加 AQI,使得空气污染更加严重。在夏季,气温和风速

表 3 和田绿洲空气质量分指数的年、季分布

Tab. 3 Annual and seasonal distribution of air quality sub-index in the Hotan Oasis

时段	SO_2		NO_2		PM_{10}		CO		O_3		$PM_{2.5}$	
	平均值/($\mu g \cdot m^{-3}$)	超标率/%	平均值/($\mu g \cdot m^{-3}$)	超标率/%	平均值/($\mu g \cdot m^{-3}$)	超标率/%	平均值/($mg \cdot m^{-3}$)	超标率/%	平均值/($\mu g \cdot m^{-3}$)	超标率/%	平均值/($\mu g \cdot m^{-3}$)	超标率/%
冬季	85	6.3	33	0.4	223	61.4	2.2	5.9	58	0.0	85	45.0
春季	45	1.1	24	0.0	522	89.7	1.2	4.5	89	0.4	145	62.3
夏季	33	0.0	19	0.0	344	79.7	0.7	0.0	106	0.0	95	47.8
秋季	46	1.1	30	0.0	237	71.4	1.5	0.7	88	0.0	75	42.9
年	52	2.1	26	0.1	332	75.7	1.4	2.8	85	0.1	100	49.5

表 4 和田绿洲不同时段 AQI 与气象因子的相关关系

Tab. 4 Correlations among AQI and meteorological factors in the Hotan Oasis in different periods

时段	气温	气压	日照时数	相对湿度	平均风速	最大风速	平均能见度	最低能见度	降水量
春季	-0.149*	-0.138*	-0.575**	0.092	0.229**	0.242**	-0.801**	-0.633**	-0.187
夏季	0.189**	-0.253**	-0.070	-0.231**	0.363**	0.427**	-0.707**	-0.496**	-0.104
秋季	-0.106	0.152*	-0.253**	-0.034	0.136*	0.214**	-0.570**	-0.341**	-0.224
冬季	0.149*	0.020	-0.073	-0.211**	0.111	0.151*	-0.630**	-0.227**	0.026
全年	0.188**	-0.228**	-0.204**	-0.238**	0.361**	0.394**	-0.614**	-0.402**	-0.064

注:* 表示在 0.05 水平上显著相关;** 表示在 0.01 水平上极显著相关。下同。

与 AQI 呈现出显著正相关,与气压、相对湿度、能见度呈现出极显著负相关,说明夏季气温越高,风速越大,气压越低,相对湿度越小,能见度越差,城市空气污染程度越大。在冬季,相对湿度、能见度与 AQI 呈极显著负相关,平均气温、最大风速呈显著正相关,冬季降雪对 AQI 影响并不显著,但相对湿度减弱会显著增加 AQI。

2.2.2 空气质量分指数(IAQI)与气象因子的相关性 为了详细了解不同污染物与气象因子之间的关系,按照《环境空气质量(AQI)技术规定(试行)》(HJ 633－2012),分析了 2015—2017 年和田绿洲每日 6 种 IAQI 和气温、气压、相对湿度、日照、风速、能见度等气象因子双测相关关系(表 5)。发现:平均气温除了与 $PM_{2.5}$无相关性外,与其余 5 种污染物均呈极显著相关关系。其中,与 SO_2、NO_2、CO 负相关,与 PM_{10}、O_3 正相关。气压与 SO_2 呈显著相关,与其余 5 种污染物均呈极显著相关关系,其中与 SO_2、NO_2、CO 正相关,与 PM_{10}、O_3、$PM_{2.5}$负相关,表明和田绿洲气温上升和气压下降会导致空气中 PM_{10}、O_3、$PM_{2.5}$浓度的增加,但对大气中 SO_2、NO_2 和 CO 浓度有明显抑制作用,这与冷空气过后的气温缓慢上升、气压下降密切相关。日照时数与 SO_2 呈显著相关,与 NO_2、PM_{10}、CO、O_3、$PM_{2.5}$均呈极显著相关,说明在短日照时数时间,大气中 SO_2、PM_{10}、CO、$PM_{2.5}$的浓度相对较高,而 NO_2、O_3 的浓度会相对较低。空气相对湿度与 NO_2 呈显著相关,与 SO_2、PM_{10}、O_3、$PM_{2.5}$呈极显著相关关系,且以负相关为主,说明空气湿度越小,对 SO_2、PM_{10}、O_3、$PM_{2.5}$浓度的升高越有利。风速和能见度与 6 种污染物浓度均呈极显著相关,其中风速增大有利于 PM_{10}、O_3、$PM_{2.5}$浓度的增加,对 SO_2、NO_2、CO 的浓度增加有明显抑制作用;随着能见度的下降,除 O_3 外,大气中 SO_2、NO_2、PM_{10}、CO、$PM_{2.5}$污染浓度呈增加趋势。由于和田属于典型的干旱荒漠性气候,降水量少,因此,降水量与污染物浓度相关性较差,仅与 NO_2、CO 呈显著相关,与其余污染物无相关,而且大部分呈负相关,说明常年较少的降水量助长了本地区多数污染物浓度的增加。总体来看,和田绿洲 IAQI 受气温、气压、日照时数、相对湿度、能见度和风速 6 个气象因子影响最为严重。

表 5 和田绿洲不同污染物 IAQI 与气象因子的相关系数

Tab. 5 Correlation coefficients among IAQI and meteorological factors for different pollutants in the Hotan Oasis

污染物	气温	气压	日照时数	相对湿度	平均风速	最大风速	平均能见度	最低能见度	降水量
SO_2	－0.257**	0.074*	－0.078*	－0.088**	－0.192**	－0.188**	－0.225**	－0.156**	－0.152
NO_2	－0.483**	0.345**	0.121**	－0.072*	－0.636**	－0.539**	－0.097**	－0.089**	－0.197*
PM_{10}	0.125**	－0.156**	－0.255**	－0.174**	0.256**	0.261**	－0.507**	－0.352**	－0.074
CO	－0.490**	0.300**	－0.093**	－0.014	－0.387**	－0.353**	－0.223**	－0.242**	－0.162*
O_3	0.749**	－0.516**	0.457**	－0.292**	0.452**	0.433**	0.482**	0.254**	0.043
$PM_{2.5}$	0.048	－0.102**	－0.269**	－0.134**	0.153**	0.169**	－0.541**	－0.376**	－0.063

2.2.3 环境空气质量指数(AQI)与能见度的关系

大气悬浮颗粒物具有吸收和散射作用,颗粒物的增加会导致大气透明度降低,使大气能见度恶化[35－36]。而空气中悬浮颗粒物主要来源于燃料燃烧时产生的烟尘、生产加工过程中产生的粉尘、建筑和交通扬尘、风沙扬尘以及气态污染物经过复杂物理化学反应在空气中生成的相应的盐类颗粒物。研究得出:和田绿洲 PM_{10}、$PM_{2.5}$年平均浓度分别为 332 μg · m^{-3} 和 100 μg · m^{-3},超标率为 75.7% 和 49.5%,其余污染物超标率在 3% 以下。从 AQI 和 IAQI 与各项气象要素之间的相关系数来看,能见度是唯一一个与各项污染指数达到极显著相关的气象要素,尤其与各季 AQI 之间的相关系数达 －0.801 ~ －0.570,在春夏季沙尘多发期和秋冬季沙尘少发期与 AQI 之间的相关系数分别为 －0.762 和 －0.490。在沙尘多发期污染日数占总日数的 85.1%,而沙尘少发期污染日数占总日数的 71.3%,其中沙尘多发期严重污染(Ⅵ级)和轻度污染(Ⅲ级)分别占污染总日数的 39.6% 和 31.7%,沙尘少发期轻度污染(Ⅲ级)占污染总日数的 59.8%(图 3 和图 4)。以上分析说明,能见度的变化与空气污染程度的变化密切相关,当能见度越好时,说明空气也越清洁,AQI 指数就越小;反之,当能见度越小时,空气也越浑浊,AQI 指数就越大。

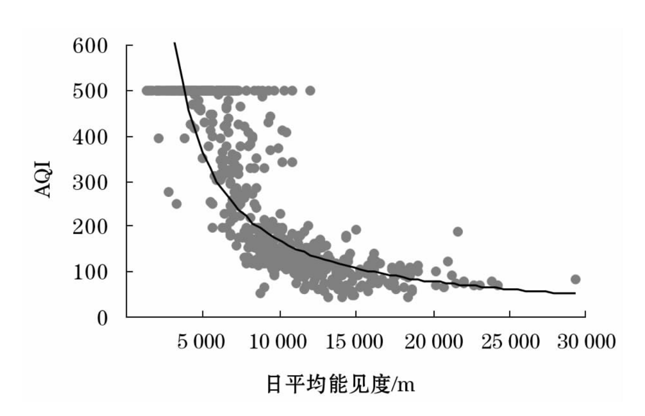


图3　和田绿洲沙尘多发期 AQI 与能见度的散布关系

Fig. 3　Dispersion relationship between AQI and visibility in the Hotan Oasis in the period with frequent occurrence of dust weather

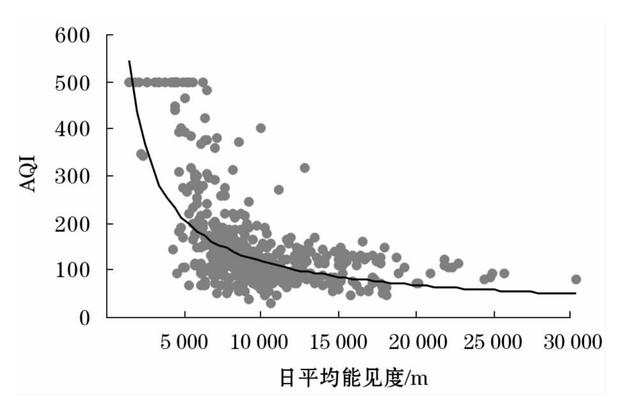


图4　和田绿洲沙尘少发期 AQI 与能见度的散布关系

Fig. 4　Dispersion relationship between AQI and visibility in the Hotan Oasis in the period with less occurrence of dust weather

由表6可知,在3—8月夏半年沙尘多发期,日平均能见度小于5 km时,平均AQI为483.5,达到空气质量严重污染标准,发生重度(Ⅴ级)及以上污染天数达100%,其中发生严重污染(Ⅵ级)天数为97.2%,尤其是能见度小于2 km时,AQI达到500;当日平均能见度在5～10 km时,平均AQI为292.0,达到空气质量重度污染标准,其中发生重度(Ⅴ级)及以上污染天数达56.7%,优良(Ⅰ级、Ⅱ级)天数只有1.6%;当日平均能见度在10～15 km时,平均AQI为135.5,达到空气质量轻度污染标准,其中发生重度(Ⅴ级)及以上污染天数为4.7%,中度污染(Ⅳ级)天数为19.2%,轻度污染(Ⅲ级)天数达52.9%,优良(Ⅰ级、Ⅱ级)天数为23.2%;当日平均能见度大于15 km时,平均AQI为93.6,达到空气质量良标准,其中发生中度污染(Ⅳ级)天数只有3.4%,轻度污染(Ⅲ级)天数为32.2%,优良(Ⅰ级、Ⅱ级)天数达64.4%。在9月至次年2月冬半年沙尘少发期,日平均能见度小于5 km时,平均AQI为397.9,达到空气质量严重污染标准,发生重度(Ⅴ级)及以上污染天数达81.2%,优良(Ⅰ级、Ⅱ级)天数只有3.1%,尤其是能见度小于2 km时,AQI达到500;当日平均能见度在5～10 km时,平均AQI为150,达到空气质量轻度污染标准,其中发生重度(Ⅴ级)及以上污染天数为13.3%,中度污染(Ⅳ级)天数为20.4%,轻度污染(Ⅲ级)天数达45.9%,优良(Ⅰ级、Ⅱ级)天数为20.4%;当日平均能见度在10～15 km时,平均AQI为110.1,达到空气质量轻度污染标准,其中发生重度(Ⅴ级)及以上污染天数只有2.4%,中度污染(Ⅳ级)天数为7.4%,轻度污染(Ⅲ级)天数为42.6%,优良(Ⅰ级、Ⅱ级)天数达50.0%;当日平均能见度大于15 km时,平均AQI为96.4,达到空气质量良标准,其中发生中度污染(Ⅳ级)天数为1.9%,轻度污染(Ⅲ级)天数为44.2%,优良(Ⅰ级、Ⅱ级)天数为53.8%。

2.2.4　空气质量分指数(IAQI)与能见度的关系

为了进一步掌握能见度与各类污染物之间的关系,分析了不同能见度条件下IAQI的变化情况(表7)。

表6　和田绿洲AQI与能见度的关系

Tab. 6　The relationship between AQI and visibility in the Hotan Oasis

沙尘级别	平均能见度/km	日数/d	平均AQI	Ⅵ级污染占比/%	Ⅴ级污染占比/%	Ⅳ级污染占比/%	Ⅲ级污染占比/%	良占比/%	优占比/%
多发期	<5	72	483.5	97.2	2.8	-	-	-	-
	5～10	249	292.0	43.8	12.9	26.1	15.7	1.2	0.4
	10～15	172	135.5	4.1	0.6	19.2	52.9	20.9	2.3
	≥15	59	93.6	-	-	3.4	32.2	62.7	1.7
少发期	<5	32	397.9	78.1	3.1	9.4	6.3	3.1	-
	5～10	338	150.0	5.3	8.0	20.4	45.9	20.1	0.3
	10～15	122	110.1	1.6	0.8	7.4	42.6	47.5	2.5
	≥15	52	96.4	-	-	1.9	44.2	50	3.8

注:“-”表示无相应的污染比例。

表7 和田绿洲 IAQI 与能见度的关系

Tab. 7 The relationship between IAQI and visibility in the Hotan Oasis

沙尘级别	平均能见度 /km	SO_2 /(μg·m^{-3})	NO_2 /(μg·m^{-3})	PM_{10} /(μg·m^{-3})	CO /(mg·m^{-3})	O_3 /(μg·m^{-3})	$PM_{2.5}$ /(μg·m^{-3})
多发期	<5	68.9	23.8	1 204.1	1.8	73.5	329.2
	5~10	38.4	20.4	443.6	0.9	95.8	120.7
	10~15	31.7	22.8	209.4	0.8	104.1	59.0
	≥15	24.8	17.8	132.0	0.6	114.8	38.0
少发期	<5	85.1	22.0	733.0	1.8	57.3	217.8
	5~10	76.8	33.5	222.8	1.9	64.5	80.5
	10~15	44.1	31.8	164.0	1.7	87.6	58.2
	≥15	25.2	23.9	140.1	1.1	103.8	38.2

分析得知,在日平均能见度小于5 km时,PM_{10}浓度最大,在沙尘多发期其浓度达1 204.1 μg·m^{-3},沙尘少发期为733.0 μg·m^{-3};当日平均能见度在5~10 km、10~15 km以及大于15 km时,PM_{10}浓度在沙尘多发期分别下降到443.6 μg·m^{-3}、209.4 μg·m^{-3}及132.0 μg·m^{-3},沙尘少发期分别下降到222.8 μg·m^{-3}、164.0 μg·m^{-3}及140.1 μg·m^{-3}。日平均能见度小于5 km时,$PM_{2.5}$浓度在沙尘多发期为329.2 μg·m^{-3},沙尘少发期为217.8 μg·m^{-3};当日平均能见度在5~10 km、10~15 km以及大于15 km时,$PM_{2.5}$浓度在沙尘多发期分别下降到120.7 μg·m^{-3}、59.0 μg·m^{-3}及38.0 μg·m^{-3},沙尘少发期分别下降到80.5 μg·m^{-3}、58.2 μg·m^{-3}及38.2 μg·m^{-3}。日平均能见度小于5 km时,SO_2浓度在沙尘多发期为68.9 μg·m^{-3},沙尘少发期为85.1 μg·m^{-3};当日平均能见度在5~10 km、10~15 km以及大于15 km时,SO_2浓度在沙尘多发期分别下降到38.4 μg·m^{-3}、31.7 μg·m^{-3}及24.8 μg·m^{-3},沙尘少发期分别下降到76.8 μg·m^{-3}、44.1 μg·m^{-3}及25.2 μg·m^{-3}。日平均能见度小于5 km时,CO浓度在沙尘多发期和少发期均为1.8 mg·m^{-3};当日平均能见度在5~10 km、10~15 km以及大于15 km时,CO浓度在沙尘多发期分别下降到0.9 mg·m^{-3}、0.8 mg·m^{-3}及0.6 mg·m^{-3},沙尘少发期分别下降到1.9 mg·m^{-3}、1.7 mg·m^{-3}及1.1 mg·m^{-3}。日平均能见度小于5 km时,O_3浓度在沙尘多发期为73.5 μg·m^{-3},沙尘少发期为57.3 μg·m^{-3};当日平均能见度在5~10 km、10~15 km以及大于15 km时,O_3浓度在沙尘多发期分别上升到95.8 μg·m^{-3}、104.1 μg·m^{-3}及114.8 μg·m^{-3},沙尘少发期分别上升到64.5 μg·m^{-3}、87.6 μg·m^{-3}及103.8 μg·m^{-3}。日平均能见度小于5 km时,NO_2浓度在沙尘多发期为23.8 μg·m^{-3},沙尘少发期为22.0 μg·m^{-3};当日平均能见度在5~10 km、10~15 km以及大于15 km时,NO_2浓度在沙尘多发期分别为20.4 μg·m^{-3}、22.8 μg·m^{-3}及17.8 μg·m^{-3},沙尘少发期分别为33.5 μg·m^{-3}、31.8 μg·m^{-3}及23.9 μg·m^{-3}。说明不管在沙尘多发的夏半年还是少发的冬半年,随着能见度的转好,SO_2、PM_{10}、CO、$PM_{2.5}$浓度呈减少趋势,O_3浓度呈增多趋势,NO_2浓度无明显的规律,而且PM_{10}、O_3、$PM_{2.5}$浓度夏半年高于冬半年,SO_2、NO_2、CO浓度冬半年高于夏半年,这种规律与和田地区冬季烟幕[32]和春夏季沙尘[33-34]日数发生密切相关。

2.2.5 环境空气质量指数(AQI)与沙尘天气的关系 沙尘天气是尘沙被风吹起,使空气混浊,大气能见度显著降低的一种天气现象。在沙尘天气出现时,大气中的颗粒物浓度急剧增加,大气能见度降低,空气污染指数增大,从而直接影响大气环境质量[35-36],但沙尘暴期间空气质量分指数(IAQI)的变化有明显的差异[37]。在气象上根据风力和能见度,沙尘天气分为沙尘暴、扬沙、浮尘。其中,沙尘暴是强风将地面尘沙吹起,使空气很混浊,水平能见度小于1 km的天气现象。扬沙是风将地面尘沙吹起,使空气相当混浊,水平能见度在1~10 km的天气现象。浮尘是天气条件为无风或平均风速≤3 m·s^{-1}时,沙粒或尘沙浮游在空中,使水平能见度小于10 km的天气现象,当水平能见度小于1 km时为浓浮尘[38]。为了掌握和田绿洲沙尘天气期间的污染浓度,统计分析了2015—2017年各类沙尘天气发生日数,对应的AQI以及当日最低能见度,为了避免沙尘日数的重复分析,当某一天同时出现沙尘暴(或

浓浮尘）、扬沙、浮尘等3种不同程度的沙尘天气，按最为严重的沙尘暴来统计，不统计扬沙和浮尘日数；当扬沙和浮尘同时出现时，只统计扬沙日数，不统计浮尘日数。由于近3 a和田市绿洲日最低能见度普遍在7 km以下，扬沙和浮尘天气根据最低能见度分为1.0～3.5 km和3.5 km以上两个档次。从表8得知，当出现最低能见度小于1 km的浓浮尘或沙尘暴（除转降水外）天气时，平均AQI达500，达到空气质量严重污染标准；当出现最低能见度在1～3.5 km的浮尘或扬沙天气时，平均AQI分别达377.6和378.8，均达到空气质量严重污染标准，其中发生严重污染（Ⅵ级）天数分别达68.5%和69.1%，重度污染（Ⅴ级）天数分别为11.0%和5.5%，中度污染（Ⅳ级）天数分别为12.5%和14.5%，轻度污染（Ⅲ级）天数分别为8.0%和10.9%；当出现最低能见度大于3.5 km的浮尘或扬沙天气时，平均AQI为263.1和185.9，分别达到空气质量重度和中度污染标准，其中在浮尘天气中发生严重污染（Ⅵ级）天数达37.5%，重度（Ⅴ级）和中度污染（Ⅳ级）天数比例比较接近，在22.2%～23.6%，轻度污染（Ⅲ级）天数为16.7%；在扬沙天气中发生严重污染（VI级）天数为16.7%，中度污染（Ⅳ级）天数为33.8%，轻度污染（Ⅲ级）天数为50.0%。

2.2.6 空气质量分指数（IAQI）与沙尘天气的关系

为了进一步掌握和田绿洲沙尘天气期间IAQI变化情况，统计分析了2015—2017年在沙尘天气期间的SO_2、NO_2、PM_{10}、CO、$PM_{2.5}$、O_3等污染物浓度。由表9得出：在沙尘天气期间，PM_{10}、$PM_{2.5}$浓度随着能见度升高而变小，其中出现最低能见度小于1 km的浓浮尘或沙尘暴时，日平均PM_{10}浓度分别达1 286.3 $\mu g \cdot m^{-3}$和1 237.5 $\mu g \cdot m^{-3}$，日平均$PM_{2.5}$浓度分别达264.8 $\mu g \cdot m^{-3}$和371.5 $\mu g \cdot m^{-3}$；当出现最低能见度在1～3.5 km的浮尘或扬沙时，PM_{10}平均浓度分别为707.4 $\mu g \cdot m^{-3}$和572.3 $\mu g \cdot m^{-3}$，$PM_{2.5}$平均浓度分别为193.1 $\mu g \cdot m^{-3}$和149.0 $\mu g \cdot m^{-3}$；当出现最低能见度大于3.5 km的浮尘或扬沙时，PM_{10}平均浓度分别为下降到377.8 $\mu g \cdot m^{-3}$和284.9 $\mu g \cdot m^{-3}$，$PM_{2.5}$平均浓度分别下降到104.2 $\mu g \cdot m^{-3}$和75.3 $\mu g \cdot m^{-3}$。其他污染物虽然在不同沙尘天气期间浓度有一定的差别，但规律不明显，其中SO_2、NO_2浓度在最低能见度1～3.5 km和大于3.5 km的浮尘天气期间最大，平均浓度分别达51.4～58.9 $\mu g \cdot m^{-3}$和22.0～23.7 $\mu g \cdot m^{-3}$；在最低能见

表8 和田绿洲AQI与沙尘天气的关系

Tab.8 The relationship between AQI and dust weather in the Hotan Oasis

最低能见度/km	沙尘状况	日数/d	平均AQI	VI级污染比例/%	V级污染比例/%	IV级污染比例/%	Ⅲ级污染比例/%
<1	浓浮尘	4	500	100	–	–	–
	沙尘暴	13	500	100	–	–	–
1～3.5	浮尘	200	377.6	68.5	11.0	12.5	8.0
	扬沙	55	378.8	69.1	5.5	14.5	10.9
≥3.5	浮尘	72	263.1	37.5	23.6	22.2	16.7
	扬沙	12	185.9	16.7	–	33.8	50.0

注：– 表示无相应的污染比例。

表9 和田绿洲IAQI与沙尘天气的关系

Tab.9 The relationship between IAQI and dust weather in the Hotan Oasis

最低能见度/km	沙尘状况	SO_2/($\mu g \cdot m^{-3}$)	NO_2/($\mu g \cdot m^{-3}$)	PM_{10}/($\mu g \cdot m^{-3}$)	CO/($mg \cdot m^{-3}$)	O_3/($\mu g \cdot m^{-3}$)	$PM_{2.5}$/($\mu g \cdot m^{-3}$)
<1	浓浮尘	38.8	14.3	1 286.3	0.4	112.0	264.8
	沙尘暴	30.8	13.8	1 237.5	0.7	102.7	371.5
1～3.5	浮尘	58.9	22.0	707.4	1.4	83.7	193.1
	扬沙	33.8	15.4	572.3	0.7	98.1	149
≥3.5	浮尘	51.4	23.7	377.8	1.1	89.8	104.2
	扬沙	28.8	12.9	284.9	0.6	107.8	75.3

度大于3.5 km的扬沙天气期间最小,平均浓度分别为28.8 μg·m^{-3}和12.9 μg·m^{-3}。CO浓度在最低能见度在1~3.5 km的浮尘天气期间最大,平均浓度达1.4 mg·m^{-3};在最低能见度小于1 km的浓浮尘天气期间最小,平均浓度为0.4 mg·m^{-3}。O_3浓度在最低能见度小于1 km的浓浮尘天气期间最大,平均浓度为112.0 μg·m^{-3};在最低能见度在1~3.5 km的浮尘天气期间最小,平均浓度为83.7 μg·m^{-3}。

3 结 论

(1) 2015—2017年,和田绿洲年平均AQI为199,达到空气质量中度污染(Ⅳ级)标准,日平均AQI在100及以下(优、良)的天数占总日数的21.9%,其中优(Ⅰ级)日数仅占总日数的1.1%;日平均AQI在101~500(轻度及以上污染)的日数占总日数的78.1%,其中轻度污染(Ⅲ级)和严重污染(Ⅵ级)日数占总日数的55.7%,是和田绿洲主要空气质量特征。

(2) 春季空气质量最差,平均AQI达280,发生污染天数达90.2%,其中严重污染天数占春季污染的47.0%;其次为夏季,平均AQI为214,发生污染天数为79.6%,其中轻度和严重污染天数占夏季污染天数的67.6%;冬季和秋季平均AQI分别下降到146、155,发生污染天数均为71.1%,其中轻度污染天数分别占冬季和秋季污染天数的60.9%和59.4%。

(3) PM_{10}、$PM_{2.5}$是和田绿洲主要的污染物,年平均浓度分别为332 μg·m^{-3}和100 μg·m^{-3},超标率为75.7%和49.5%,其余污染物超标率在3%以下,其中PM_{10}浓度春季最大,夏、秋季其次,冬季最小;$PM_{2.5}$春季最大,夏、冬季其次,秋季最小;SO_2、NO_2、CO浓度冬季最大,秋、春季次之,夏季最小;O_3浓度夏季最大,秋、春季次之,冬季最小。

(4) AQI除降水量外,与其余气象因子均呈极显著相关关系。其中,在春季和秋季,AQI与日照时数呈现出显著负相关,与风速、能见度呈极显著正相关;在夏季,与气温、风速呈现出显著正相关,与气压、相对湿度、能见度呈现出极显著负相关;在冬季,与相对湿度、能见度呈极显著负相关,与平均气温、最大风速呈显著正相关。

(5) 从IAQI与气象因子的相关关系来看,除了平均气温与$PM_{2.5}$,相对湿度与CO,降水量与SO_2、PM_{10}、O_3、$PM_{2.5}$无相关外,其余气象因子对污染物IAQI均有显著影响,尤其是对大部分IAQI呈极极显著相关。

(6) 能见度与AQI和IAQI均为极显著相关,随着能见度的上升AQI下降,在同样能见度条件下,沙尘多发期的夏半年污染浓度高于沙尘少发期的冬半年;不管在沙尘多发的夏半年还是少发的冬半年,随着能见度的转好,SO_2、PM_{10}、CO、$PM_{2.5}$浓度呈减少趋势,O_3浓度呈增多趋势,NO_2浓度无明显的规律,而且PM_{10}、O_3、$PM_{2.5}$浓度夏半年高于冬半年,SO_2、CO、NO_2浓度冬半年高于夏半年。

(7) 在沙尘天气期间,最低能见度小于1 km的浓浮尘和沙尘暴污染浓度相互接近,最低能见度在1~3.5 km的浮尘和扬沙污染浓度相互接近,当最低能见度大于3.5 km时,浮尘污染浓度高于扬沙污染浓度;PM_{10}、$PM_{2.5}$浓度随着最低能见度升高而变小,其他污染物浓度虽然随着最低能见度的变化有一定的差别,但规律不明显。

参考文献(References):

〔1〕 蔺雪芹,王岱. 中国城市空气质量时空演化特征及社会经济驱动力〔J〕. 地理学报,2016,71(1):1 357-1 371.〔Lin Xueqin, Wang Dai. Spatio-temporal variations and socio-economic driving forces of air quality in Chinese Cities〔J〕. Acta Geographica Sinica,2016,71(1):1 357-1 371.〕

〔2〕 姜磊,周海峰,柏玲,等. 空气质量指数(AQI)的社会经济影响因素分析——基于指数衰减效应视角〔J〕. 环境科学学报,2018,38(1):390-398.〔Jiang Lei, Zhou Haifeng, Bai Ling, et al. The analysis of socio-economic factors of air quality index (AQI) based on the perspective of the exponential decay effects〔J〕. Acta Scientiae Circumstantiae,2018,38(1):390-398.〕

〔3〕 陈仁杰,张金良,阚海东. 中国大气污染与肺癌关系的流行病学研究回顾〔J〕. 卫生研究,2011,40(2):243-245.〔Chen Renjie, Zhang Jinliang, Kan Haidong. Review of epidemiological research on the relationship between air pollution and lung cancer in China〔J〕. Journal of Hygiene Research,2011,40(2):243-245.〕

〔4〕 刘宏炜,马江伟. 空气质量、气象因子等环境因素对慢性阻塞性肺疾病、冠心病患者住院的影响〔J〕. 临床肺科杂志,2015,20(6):1 040-1 043.〔Liu Hongwei, Ma Jiangwei. Influence of environmental factors, including air quality and meteorological factor on inpatients with chronic obstructive pulmonary disease and coronary heart disease〔J〕. Journal of Clinical Lung,2015,20(6):1 040-1 043.〕

〔5〕 张晓,杨琼英,林国祯,等. 大气污染与居民肺癌发病及死亡灰

色关联分析〔J〕. 中国公共卫生,2014,30(2):165 – 170.〔Zhang Xiao, Yang Qiongying, Lin Guozhen, et al. Grey relational analysis on association between urban air pollution andlung cancer in China〔J〕. Chinese Journal of Public Health, 2014, 30(2):165 – 170.〕

〔6〕 杨艳红,何秉宇,尚修虎. 乌鲁木齐市空气质量与呼吸系统疾病灰色关联度分析〔J〕. 新疆环境保护,2007,29(4):9 – 12.〔Yang Yanhong, He Bingyu, Shang Xiuhu. Analysis on the grey correlation between air quality and respiratory ciseases in Urumqi〔J〕. Environmental Protection of Xinjiang, 2007, 29(4):9 – 12.〕

〔7〕 曾先峰,王天琼,李印. 基于损害的西安市大气污染经济损失研究〔J〕. 干旱区资源与环境,2015,29(1):105 – 110.〔Zeng Xianfeng, Wang Tianqiong, Li Yin. Economic loss of air pollution in Xian City〔J〕. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2015, 29(1):105 – 110.〕

〔8〕 卫立冬. 区域环境污染造成的经济损失估算〔J〕. 河北师范大学学报,2008,32(1):390 – 398.〔Wei Lidong. The assessment on the economic loss caused by regional environment pollution-take hengshui urban area as an example〔J〕. Journal of Hebei Normal University, 2008, 32(1): 390 – 398.〕

〔9〕 朝鲁门,白光明,兴安. 城市大气污染分析及综合防治〔J〕. 北方环境,2013,29(1):59 – 61.〔Chao Lumen, Bai Guangming, Xing An. Urban air pollution analysis and comprehensive prevention and control〔J〕. Journal of Northern Environment, 2013, 29(1):59 – 61.〕

〔10〕 乔晶晶. 我国城市大气污染现状及防治措施研究〔J〕. 企业技术开发,2016,35(2):40 – 41.〔Qiao Jingjing. Research on the present situation of urban air pollution and its control measures in China〔J〕. Technological Development of Enterprise, 2016, 35(2):40 – 41.〕

〔11〕 李小飞,张明军,王圣杰,等. 中国空气污染指数变化特征及影响因素分析〔J〕. 环境科学,2012,33(6):1 936 – 1 943.〔Li Xiaofei, Zhang Mingjun, Wang Shengjie, et al. Variation characteristics and influencing factors of air pollution index in China〔J〕. Environmental Science, 2012, 33(6):1 936 – 1 943.〕

〔12〕 丁镭,黄亚林,刘云浪,等. 1995—2012 年中国突发性环境污染事件时空演化特征及影响因素〔J〕. 地理科学进展,2015,34(6):749 – 760.〔Ding Lei, Huang Yalin, Liu Yunlang, et al. Spatiotemporal variability of sudden environmental pollution incidents and influencing factors in China, 1995 – 2012〔J〕. Progress in Geography, 2015, 34(6):749 – 760.〕

〔13〕 廉丽姝,高军靖,束炯. 城市大气污染特征及其与气象因子的关系——以济南、青岛市为例〔J〕. 环境污染与防治,2011,33(5):22 – 26.〔Lian Lishu, Gao Junjing, Shu Jiong. Urban air pollution feature and its relationship with meteorologic factors: A case study of Jinan and Qingdao〔J〕. Environmental Pollution and Prevention, 2011, 33(5):22 – 26.〕

〔14〕 周兆媛,张时煌,高庆先,等. 京津冀地区气象要素对空气质量的影响及未来变化趋势分析〔J〕. 资源科学,2014,36(1):191 – 199.〔Zhou Zhaoyuan, Zhang Shihuang, Gao Qingxian, et al. The impact of meteorological factors on air quality in the Beijing-Tianjin-Hebei region and trend analysis〔J〕. Resources Science, 2014, 36(1):191 – 199.〕

〔15〕 王清川,周贺玲,许敏,等. 河北省廊坊市大气污染扩散气象条件影响分析〔J〕. 防灾科技学院学报,2014,16(3):1 – 8.〔Wang Qingchuan, Zhou Heling, Xu Min, et al. The effects on meteorological conditions of atmospheric pollution diffusion in langfang in Hebei province〔J〕. Journal of Institute of Disaster Prevention, 2014, 16(3):1 – 8.〕

〔16〕 蔡仁,李霞,赵克明,等. 乌鲁木齐大气污染特征及气象条件的影响〔J〕. 环境科学与技术,2014,37(6N):40 – 48.〔Cai Ren, Li Xia, Zhao Keming, et al. The air pollution characteristics and the impact of meteorological conditions in Urumqi〔J〕. Environmental Science & Technology, 2014, 37(6N):40 – 48.〕

〔17〕 环境保护部,国家质量监督检验检疫总局. GB3095 – 2012 环境空气质量标准〔S〕. 北京:中国环境科学出版社,2012.〔Ministry of Environmental Protection, General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine. GB3095 – 2012 Environmental Air Quality Standards〔S〕. Beijing: China Environmental Science Press, 2012.〕

〔18〕 环境保护部. HJ 633 – 2012 环境空气质量指数(AQI)技术规定(试行)〔S〕. 北京:中国环境科学出版社,2012.〔Ministry of Environmental Protection. HJ 633 – 2012, Ambient Air Quality Index (AQI) Technical Provisions (Trial Implementation)〔S〕. Beijing: China Environmental Science Press, 2012.〕

〔19〕 高庆先,刘俊蓉,李文涛,等. 中美空气质量指数(AQI)对比研究及启示〔J〕. 环境科学,2015,36(4):1 141 – 1 147.〔Gao Qingxian, Liu Junrong, Li Wentao, et al. Comparative analysis and inspiration of air quality index between China and America〔J〕. Environmental Science, 2015, 36(4):1 141 – 1 147.〕

〔20〕 刘华军,杜广杰. 中国城市大气污染的空间格局与分布动态演进——基于 161 个城市 AQI 及 6 种分项污染物的实证〔J〕. 经济地理,2016,36(10):33 – 38.〔Liu Huajun, Du Guangjie. Spatial pattern and distributional dynamics of urban air pollution in China: An Empirical study based on aqi and six sub-pollutants of 161 cities〔J〕. Economic Geography, 2016, 36(10):33 – 38.〕

〔21〕 王未来,李明艳,过伟军,等. 全国 31 个重点城市空气质量特征分析〔J〕. 浙江预防医学,2015,27(11):1 110 – 1 118.〔Wang Weilai, Li Mingyan, Guo Weijun, et al. An analysis on the characteristics of air quality of 31 cities in China, 2014〔J〕. Preventive Medicine, 2015, 27(11): 1 110 – 1 118.〕

〔22〕 谷超. 新疆环境空气中 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 比值特征分析〔J〕. 干旱环境监测,2017,31(2):70 – 74.〔Gu Chao. Analysis of $PM_{2.5}/PM_{10}$ ratio in Xinjiang ambient air〔J〕. Arid Environmental Monitoring, 2017, 31(2):70 – 74.〕

〔23〕 刘新春,艾力·买买提明,霍文,等. 塔里木盆地 TSP 时空分布特征及影响因素分析〔J〕. 中国沙漠,2008,28(5):962 – 967.〔Liu Xinchun, Ali Mamtimin, Huo Wen, et al. Spatial-temporal distribution characters and effecting factors of TSP in Tarim basin〔J〕. Journal of Desert Research, 2008, 28(5):962 – 967.〕

〔24〕 张小啸,陈曦,王自发,等. 新疆和田绿洲大气降尘和 PM_{10} 浓度变化特征分析〔J〕. 干旱区地理,2015,38(3):454 – 462. 〔Zhang Xiaoxiao,Chen Xi,Wang Zifa,et al. Variation characteristics of atmospheric dustfall and PM_{10} concentration in Hotan oasis,Xinjiang〔J〕. Arid Land Geography,2015,38(3):454 – 462. 〕

〔25〕 郭宇宏,王自发,康宏,等. TSP 和 PM_{10} 监测指标对新疆城市空气质量级别的影响〔J〕. 干旱区地理,2014,37(4):731 – 743. 〔Guo Yuhong,Wang Zifa,Kang Hong,et al. Influence of monitoring index TSP and PM_{10} on ambient air quality grade at cities of Xinjiang,China〔J〕. Arid Land Geography,2014,37(4):731 – 743. 〕

〔26〕 穆克戴丝・艾合买江,晓开提・依不拉音. 新疆四城市大气质量及污染物变化趋势对比分析研究〔J〕. 环境科学与管理,2017,42(7):66 – 70. 〔Mukedaisi Aihemaijiang,Xiaokaiti Yibulayin. Comparison analysis of air quality and pollutant change trend for four cities in Xinjiang〔J〕. Environmental Science and Management,2017,42(7):66 – 70. 〕

〔27〕 杨静,李霞,李秦,等. 乌鲁木齐近 30 a 大气稳定度和混合层高度变化特征及与空气污染的关系〔J〕. 干旱区地理,2011,34(5):747 – 752. 〔Yang Jing,Li Xia,Li Qin,et al. Variation characteristics of atmospheric stability and mixed layer thickness and their relation to air pollution in recent 30 years in Urumqi〔J〕. Arid Land Geography,2011,34(5):747 – 752. 〕

〔28〕 阿衣古丽・艾力亚斯,玉米提・哈力克,迈迪娜・吐尔逊. 阿克苏市空气污染及其变化分析〔J〕. 干旱区研究,2016,33(3):649 – 654. 〔Ayguli Ailiyas,Yummit Halik,Maidina Tursun. Air pollution and its change trend over Aksu City〔J〕. Arid Zone Research,2016,33(3):649 – 654. 〕

〔29〕 巩庆,范金霞,林卫,等. 2014 – 2015 年新疆库尔勒市空气质量的时空分布特征〔J〕. 沙漠与绿洲气象,2017,11(5):77 – 82. 〔Gong Qing,Fan Jinxia,Lin Wei,et al. Spatial and temporal distribution of air quality levels and primary pollutant in Korla City,Xinjiang〔J〕. Desert and Oasis Meteorology,2017,11(5):77 – 82. 〕

〔30〕 羊兴,赵克明,闵月,等. 2015 年喀什市大气颗粒物的时空分布特征〔J〕. 沙漠与绿洲气象,2017,11(5):83 – 88. 〔Yang Xing,Zhao Keming,Min Yue,et al. Spatial and temporal distribution of atmospheric particulates over Kashgar City in 2015〔J〕. Desert and Oasis Meteorology,2017,11(5):83 – 88. 〕

〔31〕 赵克明,李霞,卢新玉,等. 峡口城市乌鲁木齐冬季大气污染的时空分布特征〔J〕. 干旱区地理,2014,37(6):1 108 – 1 118. 〔Zhao Keming,Li Xia,Lu Xinyu,et al. Wintertime temporal-spatial distribution characteristics of air pollutants in mountain gap town Urumqi〔J〕. Arid Land Geography,2014,37(6):1 108 – 1 118. 〕

〔32〕 刘海涛,蒋丽,韩春光,等. 新疆和田地区烟幕天气变化特征及成因分析〔J〕. 沙漠与绿洲气象,2005,9(1):24 – 31. 〔Liu Haitao,Jiang Li,Han Chunguang,et al. Variation features and causes of smokescreen weather in the Hetian Region〔J〕. Desert and Oasis Meteorology,2005,9(1):24 – 31. 〕

〔33〕 何清,杨青,李红军. 新疆 40 a 来气温、降水和沙尘天气变化〔J〕. 冰川冻土,2003,25(4):423 – 427. 〔He Qing,Yang Qing,Li Hongjun. Variations of air temperature,precipitation and sand-dust weather in Xinjiang in past 40 years〔J〕. Journal of Glaciology and Geocryology,2003,25(4):423 – 427. 〕

〔34〕 刘海涛,张向军,李盈奎,等. 和田地区沙尘暴天气的时空分布特征〔J〕. 干旱区资源与环境,2009,23(5):85 – 89. 〔Liu Haitao,Zhang Xiangjun,Li Yingkui,et al. The time-space distribution characteristics of sandstorm weatherin Hotan region〔J〕. Journal of Arid Land Resources and Environment,2009,23(5):85 – 89. 〕

〔35〕 芝永华,傅朝,邵志宏. 兰州市沙尘天气及其对空气质量的影响〔J〕. 灾害学,2007,22(1):77 – 81. 〔Zhi Yonghua,Fu Zhao,Shao Zhihong. The dust weather and its influence on air quality in Lanzhou City〔J〕. Journal of Catastrophology,2007,22(1):77 – 81. 〕

〔36〕 杨青,杨莲梅,张广兴,等. 能见度与空气质量的关系研究〔J〕. 中国沙漠,2006,26(2):278 – 282. 〔Yang Qing,Yang Lianmei,Zhang Guangxing,et al. Research on classification of sandstorm intensity based on probability distribution of PM_{10} concentration〔J〕. Journal of Desert Research,2006,26(2):278 – 282. 〕

〔37〕 蒋雨荷,王式功,靳双龙,等. 中国北方一次强沙尘暴天气过程的大气污染效应〔J〕. 干旱区研究,2018,35(6):1 344 – 1 351. 〔Jing Yuhe,Wang Shigong,Jin Shuanglong,et al. Air pollution in a strong sandstorm in North China〔J〕. Arid Zone Research,2018,35(6):1 344 – 1 351. 〕

〔38〕 中国气象局. 地面气象观测规范〔M〕. 北京:气象出版社,2003. 〔China Meterological Administration. Specification for Surface Meteorological Observation〔M〕. Beijing:Weather Press,2003. 〕

Relationship between Air Quality and Meteorological Conditions in the Hotan Oasis, Xinjiang

Maimaitiabudoula Yimier[1], Bupatiman Aibaidoula[1], CHEN Tian-yu[1], Mayila Maimaiti[2], ZHAO Yu-qian[1]

(1. *Hotan Meteorological Observatory*, *Hotan* 848000, *Xinjiang*, *China*;

2. *Hotan Airport*, *Xinjiang Airport* (*Group*) *Co. Ltd.*, *Hotan* 848000, *Xinjiang*, *China*)

Abstract: In this study, the daily data of air quality and the conventional meteorological data from the Hotan Oasis were used to analyze the air quality over the study area from January 1, 2015 to December 31, 2017. The relationships among the air quality and the meteorological factors were discussed. The results showed that the three-year average AQI in the Hotan Oasis was 199, the air pollution was moderate, and the days with air pollution accounted for 78.1% of the total. Seasonally, the air quality in spring was the worst, then that in summer, and the air pollution was the slightest in autumn and winter. The annual average concentrations of PM_{10} and $PM_{2.5}$ were 332 μg · m^{-3} and 100 μg · m^{-3}, and the days when the values of PM_{10} and $PM_{2.5}$ exceeded the standards accounted for 75.7% and 49.5% of the total, respectively. The days when the values of other pollutants exceeded the standards were lower than 3%. The concentration of PM_{10} was the highest in spring, then in summer and autumn, and it was the lowest in winter. The concentration of $PM_{2.5}$ was the highest in spring, then in summer and winter, and it was the lowest in autumn. The concentrations of SO_2, NO_2 and CO were the highest in winter, then in spring and autumn, and it was the lowest in summer. O_3 concentration was the highest in summer, then in spring and autumn, and it was the lowest in winter. Except precipitation, AQI was significantly correlated with other meteorological factors. Except the absence of correlations between the average temperature and $PM_{2.5}$, relative humidity and CO, and precipitation and SO_2, PM_{10}, O_3 and $PM_{2.5}$, other meteorological factors affected significantly the IAQI. Visibility was significantly correlated with AQI and IAQI. AQI decreased with the increase of visibility. Under the similar visibility, the pollutant concentration was higher in summer half year when the occurring frequency of dust weather was high than that in winter half year when the occurring frequency of dust weather was low. With the improvement of visibility, the concentrations of SO_2, PM_{10}, CO and $PM_{2.5}$ tended to a decrease, the concentration of O_3 increased, and the concentration of NO_2 changed irregularly. Moreover, the concentrations of PM_{10}, O_3 and $PM_{2.5}$ were higher in summer half year than in winter half year, and the concentrations of SO_2, CO and NO_2 were higher in winter half year than in summer half year. When the visibility was lower than 1 km, the pollutant concentration under dense floating dust weather was similar to that in sandstorm; when the visibility varied in a range of 1 − 3.5 km, the pollutant concentration under floating dust weather was similar to that under blowing sand weather; when the visibility was higher than 3.5 km, the pollutant concentration under floating dust weather was higher than that under blowing sand weather. The concentrations of PM_{10} and $PM_{2.5}$ decreased with the increase of the lowest visibility, and the change of concentrations of other pollutants with the change of the lowest visibility was different.

Key words: air quality; meteorological factor; Oasis; Hotan; Xinjiang